4C

УДК 681.335:004.891

***А.В. Селиванова*[1], *Т.Л. Мазурок*[2]**
[1]Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина
Украина, 65001, г. Одесса, ул. Дворянская, 1/3
[2]Южноукраинский национальный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, Украина
Украина, 65020, г. Одесса, ул. Старопортофранковская, 26

Интеллектуальные средства управления обобщенной холодильной установкой

***A.V. Selivanova*[1], *T.L. Mazurok*[2]**
[1]Odesa National Academy of Food Technologies, Ukraine
Ukraine, 65001, c. Odessa, Dvoryanska st., 1/3
[2] South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky, Ukraine
Ukraine, 65020, c. Odessa, Staroportofrankovskaya st. , 26

Intellectual Control Facilities the Generalized Refrigeration Unit

***А.В. Селіванова*[1], *Т.Л. Мазурок*[2]**
[1]Одеська національна академія харчових технологій, Україна
Україна, 65001, м. Одеса, вул. Дворянська, 1/3
[2]Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К.Д. Ушинського, Украина
Україна, 65020, м. Одеса, вул. Старопортофранківська, 26

Інтелектуальні засоби управління узагальненою холодильною установкою

В статье рассматривается проблема применения интеллектуальных методов и средств при управлении обобщенной холодильной установкой. Предлагается продукционно-фреймовая модель обобщения, идентификация состояния системы с помощью правил продукций, нейро-нечеткая модель управления обобщенной холодильной установкой и ее реализация в компьютерном тренажере IceQueen 3.0.
Ключевые слова: интеллектуальные средства, управление, холодильная установка, компьютерный тренажер.

In the article the task of authentication of parameter is examined as a continuous function of parabolic equalization is in partials. Analytical expression is found for the calculation of gradient of the non–obvious set functional. Gradient is used to determine the modernized classical method of Lagrange multipliers.
Key words: intellectual facilities, control, refrigeration unit, computer simulator.

У статті розглядається проблема застосування інтелектуальних методів і засобів при управлінні узагальненою холодильною установкою. Пропонується продукційно-фреймова модель узагальнення, ідентифікація стану системи за допомогою правил продукцій, нейро-нечітка модель управління узагальненою холодильною установкою і її реалізація в комп’ютерному тренажері IceQueen 3.0.
Ключові слова: інтелектуальні засоби, управління, холодильна установка, комп’ютерний тренажер.

Введение

Актуальность. Холодильная установка представляет собой комплекс, в состав которого входят холодильные машины, аппараты и сооружения, предназначенные для получения, транспортировки и использования искусственного холода в технологических процессах пищевой, химической, металлургической, горной, нефтяной, газовой и медицинской промышленности. Кроме того, холодильная установка включает еще вспомогательные устройства в виде аппаратов, приборов, трубопроводов как для осуществления технологических процессов при низких температурах, так и для рациональной эксплуатации холодильного оборудования в течение реального времени. В процессе управления холодильной установкой обслуживающий персонал пытается установить и поддержать наиболее экономичный и безопасный режим работы, что способствует долговечности оборудования. Поддержание оптимальных параметров в теплообменных аппаратах, уменьшение температурных перепадов между средами в теплообменных аппаратах способствуют улучшению экономических показателей эксплуатации.

Известные системы автоматического регулирования работой холодильной установкой позволяют поддерживать только технические параметры функционирования системы, имеют существенные ограничения [1].

Применение системы интеллектуальной поддержки при моделировании управления обобщенной холодильной установкой позволяет реализовать формирование эталонного управляющего воздействия, с помощью которого можно обеспечить аппарат подсказок в процессе обучения, либо в реальных условиях эксплуатации. Кроме того, такая поддержка может значительно снизить аварийность на действующих холодильных установках, сделать управление более качественным, снизить энергозатраты.

Разработка систем автоматизированного управления обобщённой холодильной установкой для промышленной эксплуатации, создания тренажёров для подготовки обслуживающего персонала представляет собой проблему, требующую постоянного совершенствования, поэтому является актуальной и нерешённой.

Целью работы является разработка моделей, методов и средств автоматизироВанного управления холодильной установкой и их взаимодействия в условиях промышленной эксплуатации, практического обучения.

Постановка задачи

При моделировании системы управления холодильной установкой возникает необходимость в ее обобщении, что позволяет гибко настраивать параметры управления под любые частные случаи её конфигурации.

Разработка обобщённой модели управления холодильной установкой на основе классических методов моделирования не позволяет решить все поставленные задачи ввиду отсутствия однозначных математических зависимостей, связывающих зависимость выходных параметров от значений входных параметров и параметров возмущений. Оценка параметров, характеризующих процесс управления обобщенной холодильной установкой, имеет нечёткий характер различного происхождения. Поэтому для автоматизации управления такими системами наиболее эффективными являются средства искусственного интеллекта.

Проблеме автоматизации и моделирования управления холодильными установками посвящены работы О.А. Онищенко, Ю.В. Живица, М.В. Севергина, Н.Б. Алехина, О.С. Куценко, А.А. Гурского и др.

Применение интеллектуальных компонентов в системах автоматизированного управления различного направления рассмотрено в работах Н.В. Глуховой, С.П. Плешкова, О.И. Секирина и др. Использование интеллектуальных компонентов в системах управления холодильными установками рассмотрено в работах О.А. Онищенко, Ю.В. Живица, А.В. Абзалова и др.

Однако, в рамках общей проблемы разработки автоматизированных систем управления холодильными установками нерешённой является задача создания подсистемы интеллектуальной поддержки процесса выработки управляющего воздействия на основе модели обобщённой холодильной установкой.

Процесс принятия решения об управляющем воздействии со стороны оператора представляется слабо формализованным с высокой степенью неопределённости. Поэтому, при построении модели управления обобщенной холодильной установкой предлагается использование гибридного нейро-нечеткого моделирования.

Решение поставленной задачи

Обобщение холодильной установки. Все типы холодильных установок можно классифицировать по ряду признаков. Каждый из них характеризует только одну особенность установки; поэтому в определении конкретной холодильной установки могут использоваться несколько признаков. Холодильные установки или станции могут отличаться по 9 признакам, каждый из которых может иметь от двух до пяти градаций. Учитывая это, холодильную установку можно рассматривать как сложную искусственную открытую человеко-машинную систему с управлением, действующую в условиях неопределенности.

Структурную модель обобщенной холодильной установки (ОХУ) можно преставить в виде продукционно-фреймовой модели вида:

$$\mathrm{S}_{\mathrm{grm}}:\left\{K_n, K_{prod}, K_t, K_r, K_{ha}, K_o, K_e, K_s, K_{vn}\right\}, \quad (1)$$

где K_n – назначение {централизованная, децентрализованная};

K_{prod} – продуктивность {большие, средние, мелкие} {Kprod >3 МВт, Kprod <1 МВт, Kprod <60 КВт};

K_t – температурный режим {высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные} {10..-10 °С, -10..-20, -20..-120 °С};

K_r – режим работы {стационарные, нестационарные, непрерывные, цикличные, нестационарные с аккумулятором тепловой энергии};

K_{ha} – вид холодильного агента {аммиачные, фреоновые, этановые, пропановые, углекислотные, на смесях};

K_o – вид охлаждения {с непосредственным, с промежуточным};

K_e – вид энергии {электродвигатель, газовая турбина, вторичные энергоресурсы, природный холод, гелиоустановки};

K_s – количество компрессоров {одноступенчатая, двухступенчатая};

K_{vn} – {безнасосной системой охлаждения, с насосно-циркуляционной системой охлаждения}.

Частные случаи применения данной модели могут быть получены путем обработки правил продукций вида:

Rule 1
EQ(Sgrm. Ks; 1)
EQ(Sgrm. Kha; аммиак)
EQ(Sgrm.Kvn; 2)
Do
EQ(Одноступенчатая аммиачная холодильная установка с насосно-циркуляционной системой охлаждения)
EndR

Они соответствуют различным структурно-параметрическим конфигурациям реальных установок, что расширит возможности формирования соответствующих навыков управления.

Принципиальная схема обобщенной холодильной установки. В самом общем виде холодильную установку можно представить с помощью принципиальной схемы (рис. 1). Основными элементами установки являются: компрессор (КМ), конденсатор (Кд), линейный ресивер, водяной насос (Вн) в случае насосно-циркуляционной системы, камера с батареей (Кам, Б), отделитель жидкости (ОЖ), двухпозиционные элементы управления (вентили 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 12, 16, 21) и регулирующий вентиль 9. Компрессоров, насосов и камер может быть несколько, в этом случае они включаются в схему параллельно.

На рис. 1 приведены результаты идентификации коэффициента $\beta_e(t)$ за 21 итерацию для реального процесса затвердевания стального расплава в изложнице на основе экспериментальных данных [7].

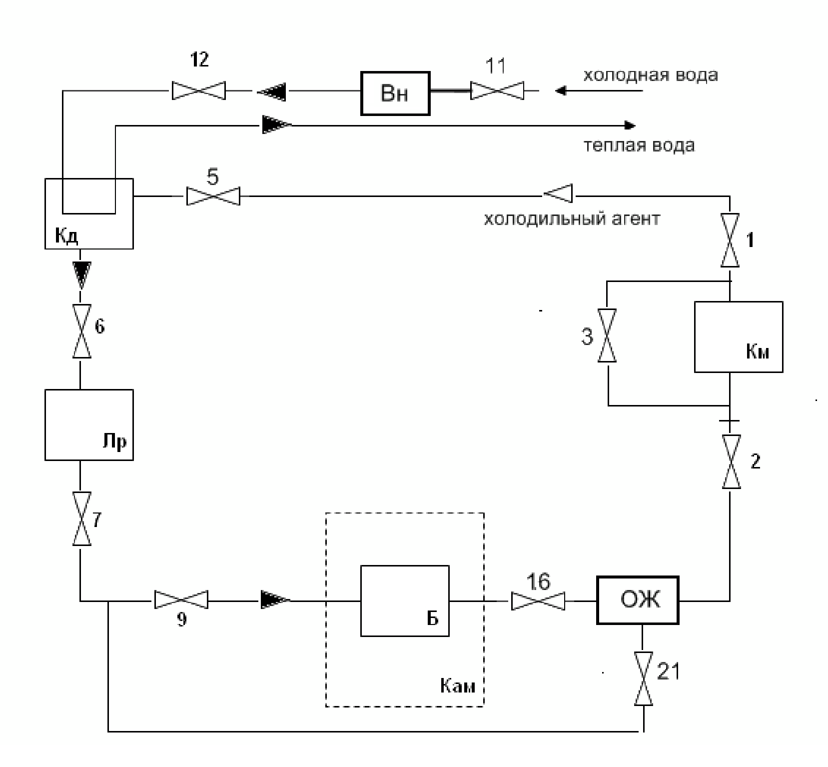


Рисунок 1 – Принципиальная схема обобщенной холодильной установки

Схема и модель управления. Опираясь на классическую модель управления [2], разработана схема управления обобщенной холодильной установкой для компьютерного тренажера (рис. 2).

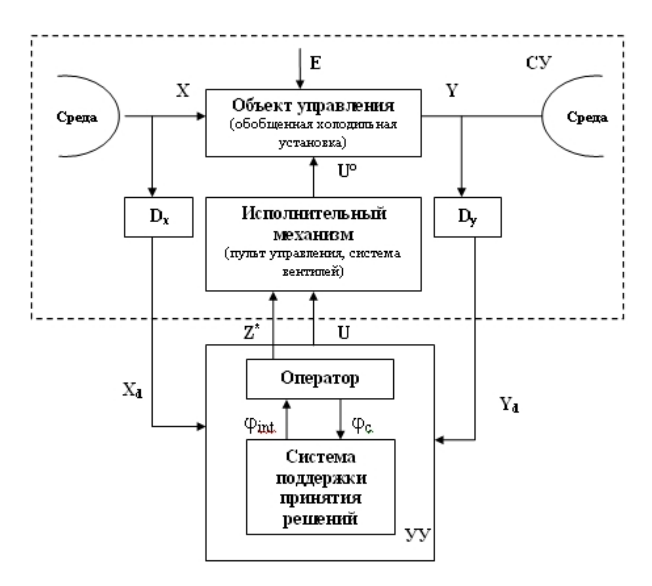


Рисунок 2 – Схема управления обобщенной холодильной установкой

Модель объекта управления можно представить в виде зависимости F, связывающей состояние Y объекта с его входами – неуправляемым X и управляемым U:

$$Y = F(X, U). \quad (2)$$

Модель F представляет собой высказывание относительно связи между входами X и U модели и ее выходом на любом удобном языке. В общем случае модель F определяется некоторым алгоритмом, который указывает, как, располагая информацией о входах X и U, определить выход Y, не обращаясь к реальному объекту. Располагая информацией о состоянии среды, объекта и цели можно представить управление как результат работы алгоритма

$$U = \varphi(I, Z^*), \quad (3)$$

где φ – алгоритм управления, представляющий собой оператор, преобразующий информацию о среде, объекте и цели в управление U, реализация которого U° должна переводить объект в требуемое состояние Z^*.

Блок интеллектуальной поддержки принятия решений. Процесс управления холодильной установкой условно состоит из 3 этапов: «пуск», «выход на режим», «поддержание режима». В момент «Пуска» установка находится в начальном состоянии:

$$t_{kam} = t_{os} > t_{\text{зад}}, \quad (4)$$

где t_{kam} – температура в камере,

t_{os} – температура окружающей среды,

$$Q_{об} > Q_{\text{отв}} = 0, \quad (5)$$

где $Q_{об}$ – величина теплопритоков (через ограждения, от персонала, освещения и т.д.),

$Q_{\text{отв}}$ – количество теплоты, отводимой холодильной машиной

С точки зрения теории управления, этап «выход на режим» соответствует фазе перевода в целевое состояние. На этом этапе под действием управляющих воздействий $t_{kam} \to t_{зад}$, $Q_{отв} \to Q_{отв}$. При этом, как правило, этот этап должен протекать заданный промежуток времени $\tau_{вр}$.

В процессе пуска важной задачей является задача выполнения правильной последовательности действий и не допуска возникновения аварийной ситуации. Управление в процессе пуска можно описать с помощью правил продукций:

1. Если система не запущена И V11 закрыт, И V12 закрыт, То нормальная работа.
2. Если аппараты выключены И КМ запущен, То вспышка масла в цилиндре.
3. Если ВН включен И КМ не запущен и V12 открыт и V11 закрыт, То опустошение насоса.
4. Если V11 открыт И V12 открыт И V3 открыт И V4 открыт И МН запущен И КМ запущен, То нормальный запуск.
5. Если V1 открыт И V2 открыт И V3 закрыт И КМ запущен, То нормальная работа.
6. Если водяная система запущена И V1 закрыт И V2 закрыт И V3 открыт, ТО КМ включить.
7. Если водяная система запущена И V1 открыт И V2 закрыт И КМ запущен, ТО в компрессоре понижается давление И вспенивается масло И масляный гидроудар.
8. Если водяная система запущена И V1 закрыт И V2 открыт И КМ запущен, ТО в компрессоре растет давление И опасность разрушения компрессора (взрыв).
9. Если водяная система запущена И V1 открыт И V2 открыт И КМ запущен, ТО опасность гидравлического удара.
10. Если холостой ход И V1 открыт И V2 открыт И V3 закрыт, И V9 открыт, ТО выход на режим.
11. Если холостой ход И V1 открыт И V2 открыт И V3 закрыт, И V9 закрыт, ТО давление нагнетания растет, давление всасывания падает, опасность гидравлического удара.
12. Если водяная система запущена И V1 открыт И V2 открыт И V3 открыт, И система малая, ТО падение холодопроизводительности.
13. Если водяная система запущена И V1 открыт И V2 открыт И V3 открыт, И система большая, ТО холостой ход.

Следующие правила относятся к управлению процессом выхода на режим:

14. Если V9 закрыт ИЛИ V9 недостаточно открыт, То переполнение линейного ресивера.
15. Если V7 закрыт, То переполнение линейного ресивера.
16. Если линейный ресивер переполнен, ТО давление конденсации растет, давление нагнетания растет, вспышка масла в цилиндре компрессора.
17. Если отделитель жидкости переполнен И V21 закрыт И система работает, ТО гидравлический удар.
18. Если уровень в отделителе жидкости $Hog > 40\%$, ТО открыть V21, закрыть V7.
19. Если V21 открыт И V7 открыт, ТО переполнение отделителя жидкости и гидравлический удар.
20. Если уровень масла в компрессоре $30\% < Hmkm < 70\%$, ТО нормальная работа.
21. Если уровень масла в компрессоре $Hmkm < 30\%$, ТО перегрев деталей компресора, опасность заклинивания.

22. Если V5 открыт И V6 открыт И V28 закрыт ТО нормальная рабрта

23. Если V5 открыт И V6 закрыт, ТО переполнение конденсатора.

24. Если переполнение конденсатора, ТО давление конденсации растет И давление нагнетания растет – вспышка масла в цилиндре компрессора.

25. Если V5 закрыт И V6 открыт, ТО давление нагнетания растет – вспышка масла в цилиндре компрессора.

26. Если переполнен масляный горшок в конденсаторе, ТО открыть V28.

27. Если переполнен масляный горшок в конденсаторе И V28 закрыт, ТО мАсло попадает в линейный ресивер, испарители и ухудшается теплообмен.

28. Если переполнен масляный горшок в линейном ресивере И V29 закрыт, ТО масло попадает в испаритель и ухудшается теплообмен.

С целью получения дополнительных правил при обработке экспериментальных данных можно использовать нейронную сеть. В процессе функционирования нейронная сеть формирует выходной сигнал Y в соответствии с входным сигналом X, реализуя некоторую функцию $Y = g(X)$. Если архитектура сети задана, то вид функции g определяется значениями синаптических весов и смещений сети. Решить поставленную задачу с помощью нейронной сети заданной архитектуры – это значит синтезировать функцию g, подобрав параметры нейронов таким образом, чтобы функционал качества обращался в оптимум для всех пар (X^*, Y^*). Обучение состоит в синтезе функции g, что требует длительных вычислений и представляет собой итерационную процедуру. На каждой итерации происходит уменьшение функции ошибки [3].

Для получения обучающей выборки при решении задачи прогнозирования состояния системы и выбора управляющего воздействия был произведен анализ журналов суточной работы компрессорного цеха Одесского мясоперерабатывающего завода, взятых за годовой период. Эти журналы содержат данные, снятые с показаний датчиков через малые промежутки времени.

На базе полученных данных с помощью программы Neuro Pro была построена и обучена нейронная сеть. Часть обучающей выборки представлена на рис. 3.

Microsoft Excel - t1_1.dbf

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

R4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	TSND	TN_SVD	TN1STUP	TO-30	TO-12	TK	PK	PO-30	PO-12	RPR	TV_VHOD	TV_VIHOD	TOS	RV_OSN	TKAM1	ZAGRUZKA	RVKAM
2	58	82	112	-30	-18	17	7	1	2	3	12	14	0	40	-24	0	10
3	59	83	112	-30	-18	17	7	1	2	3	12	14	0	40	-24	0	10
4	59	83	112	-30	-18	17	7	1	2	3	12	14	1	40	-24	0	10
5	60	84	112	-30	-18	17	7	1	2	3	12	14	0	40	-24	0	10
6	59	83	112	-30	-18	17	7	1	2	3	12	14	0	40	-24	0	20
7	59	83	111	-30	-18	16	7	1	2	3	12	14	0	40	-24	10	20
8	59	83	111	-30	-18	15	7	1	2	2	12	14	-1	40	-24	10	20
9	59	83	109	-33	-17	15	7	1	2	2	12	14	0	45	-22	20	35
10	75	86	115	-33	-19	18	8	1	2	2	12	14	2	45	-22	20	35
11	74	86	114	-35	-19	22	8	1	2	2	12	14	3	45	-22	20	35
12	64	85	112	-35	-19	21	8	1	2	3	12	14	4	45	-22	20	35
13	64	85	112	-35	-20	19	8	1	2	3	12	14	5	45	-23	20	40
14	64	85	111	-35	-20	19	8	1	2	3	12	14	6	45	-23	30	45
15	62	86	111	-35	-20	19	8	1	2	3	13	15	6	45	-23	30	45
16	64	86	112	-35	-20	19	8	1	2	3	13	15	6	50	-23	30	45
17	62	86	111	-35	-20	19	8	1	2	3	13	15	6	50	-23	30	45
18	63	86	112	-35	-20	19	8	1	2	3	13	15	5	50	-23	30	45
19	64	86	112	-34	-20	19	8	1	2	3	13	15	4	55	-22	30	45
20	62	85	109	-34	-17	19	7	1	2	3	13	15	3	45	-22	30	45
21	63	85	114	-33	-17	19	7	1	2	3	13	15	2	40	-22	30	45

Рисунок 3 – Обучающая выборка, полученная экспериментальным путем

Для построения гибридной нейро-нечеткой модели использован пакет Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB, в котором гибридные сети реализованы в форме адаптивных систем нейро-нечеткого вывода ANFIS. В качестве начальных учебных данных использо-

ваны экспериментальные данные по эксплуатации одноступенчатой аммиачной холодильной установки для хранения мясомолочной продукции Одесского мясоперерабатывающего завода.

Основным заданием холодильной установки является поддержка заданного температурного режима в холодильной камере, потому входные параметры представлены лингвистическими переменными: $t_{кам}$ – температура в камере; $v_{tкам}$ – скорость изменения температуры в камере. Выходной переменной является параметр управления rv – мера открытия регулирующего вентиля. После подготовки и загрузки учебных данных сгенерирована структура системы нечеткого вывода.

Анализ результатов показал, нейросеть дает неплохой результат при решении поставленной задачи, а именно за 117 циклов обучения с нулевым шагом получено 68 из 72 правильно решенных примеров. Средняя оценка 0,0001388889. Выборочная оценка константы Липшица 1,900658 при норме разности векторов входных сигналов 0,2630668 соответствует записям 14, 15. Таким образом, нейро-сетевая модель требует доработки с целью улучшения структуры сети и уменьшения функции ошибки.

Практическая реализация. Для реализации разработанной модели разработан компьютерный тренажёр IceQueen 3.0. Для реализации использована объектно-ориентированная технология, а именно создан объектный класс TRefMashine в среде Delphi, который содержит поля и свойства для хранения параметров состояния холодильной установки в каждый момент времени, а также методы для управления ею.

Например, свойства:

```
property KomprIsWorking:Boolean  read FKomprIsWorking write SetKomprIsWorking;
{компрессор работает}
property VN1IsWorking:Boolean  read FVN1IsWorking; {насос1 работает}
property Vent1IsOpen:Boolean  read FVent1IsOpen ;
property Vent2IsOpen:Boolean  read FVent2IsOpen ;
. . .
методы:
procedure OpenVent1;
procedure CloseVent1;
procedure StartVN1;
procedure StartKompressor;
. . .
```

Применение объектно-ориентированного подхода придает гибкость разработке и позволяет вносить изменения в работу системы с учетом изменения модели управления, не изменяя ее структуры. Для этого достаточно откорректировать реализацию класса или расширить его, добавив новые свойства и методы.

Выводы и перспективы исследования

Анализ проведенных исследований и экспериментов показал, что использование интеллектуальных методов и средств в функционировании блока поддержки принятия решений в автоматизированном управлении холодильной установкой позволяет улучшить качественные показатели управления в целом. Применение аппарата нейронных сетей для уточнения базы нечетких правил с последующим созданием нейро-нечеткой системы управления в качестве интеллектуальной составляющей системы поддержки принятия решения является целесообразным. Планируется продолжить компьютерные эксперименты с целью уточнения модели и уточнения улучшения показателей качества управления.

Литература

1. Полевой А.А. Автоматизация холодильных установок и систем кондиционирования воздуха / Полевой А.А. – Спб. : «Профессия», 2010. – 244 с.
2. Растригин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Растригин Л.А. – М. : Сов. радио, 1980. – 232 с. : ил.
3. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети : теория и практика. – 2 изд., стереотип / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с. : ил.
4. Живица Ю.В. Управление промышленной холодильной установкой с использованием алгоритмов нечеткой логики / Ю.В. Живица, О.А. Онищенко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Випуск 4/2008 (51), Частина 2. – С. 140-143.
5. Онищенко О.А. Двуканальная система управления малыми холодильными установками / О.А. Онищенко // Электротехнические и компьютерные системы. – 2012. – № 5 (81). – С. 37-42.

Literatura

1. Polevoj A.A. Avtomatizatsija holodilnih ustanovok i system konditsionirovanija vozdukha. – Spb. : «Professija», 2010. – 244 s., ris., tabl.
2. Rastrigin L.A. Sovremennie principi upravlenija slognimi objektami / L.A. Rastrigin. – M. : Sov Radio, 1980. – 322 s.:il
3. Kruglov V.V. Iskusstvennie neironnie seti teoriya I praktika / V.V. Kruglov, V.V. Borisov. – 2 izd., stereotip. – M. : Goryachaya liniya-Telecom, 2002. – 382 s.:il.
4. Jivica U.A. Upravleniepromishlennoy holodilnoy ustanovkoy s ispolzovaniem algoritmov nechetkoy logiki / U.A. Jivica, O.A. Onishenko / Visnik KDPU imeni Mihayla Ostrogradskogo. – Vipusk 4/2008(51), Chastina 2. – C. 140-143.
5. Onishenko O.A. Dvukanalnaya systema upravleniya malimi holodilnimi ustanovkami // Electrotehnicheskie I komputernie systemi. – 2012. – № 5(81). – C. 37-42.

RESUME

A.V. Selivanova, T.L. Mazurok

Intellectual Control Facilities the Generalized Refrigeration Unit

In given article the schematic diagram, productional and frame model of identification of the generalized refrigeration unit, the scheme and model of management by the generalized refrigeration unit on the basis of the classical model offered in [1] are developed. The classical scheme is added with the block of intellectual support of system of support of decision-making. On a database received the neuro and indistinct model of management experimentally is developed by the generalized refrigeration unit.

The developed model is realized in the computer simulator with application of object-oriented technology.

System realization taking into account the offered models allows to solve a problem of increase of effective management of the refrigeration unit in the conditions of training and in a real production situation at the expense of use of intellectual means.

Статья поступила в редакцию 08.04.2013.